

(50) 低層 RC 造建築を対象とした直付け鉄骨枠付 ブレース耐震補強工法における間接接合部の 伝達応力分布

三谷 勲¹・藤永 隆²

¹正会員 神戸大学名誉教授 (〒675-0101 加古川市平岡町新在家1958-13)

E-mail: itmitani@mub.biglobe.ne.jp

²正会員 神戸大学 准教授 都市安全研究センター (657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail: ftaka@kobe-u.ac.jp

外付け枠付き鉄骨ブレース補強における間接接合部の応力分布がブレースタイプによって異なること、連層連スパン補強された場合、外周部鉄骨枠に比べて中間部鉄骨枠の応力は小さいことを弾性数値解析結果に基づいて示す。

Key Words : *Seismic retrofit, External steel brace, Indirect connection, Stress distribution*

1. 序

居ながら工事が可能である等の長所がある外付け補強工法は「外側耐震改修マニュアル」¹⁾に基づいて設計することが原則である。しかし、このマニュアルでは外付け枠付き鉄骨ブレース耐震補強における既存 RC 骨組と補強鉄骨骨組の間接接合部間の応力伝達機構の特性が下記の点において反映されていない。

内付け工法では枠柱および枠梁はそれぞれスパン・階高で寸断される(写真1参照)ので一構面ごと設計することに合理性がある。完全外付け工法(写真2および3参照)では枠柱および枠梁はそれぞれスパン・階高で寸断されることはまれであるが、連層連スパンの場合も単層単スパンとして間接接合部を設計としている。

ブレースが K あるいは V 型配置ではブレースの1端は枠鉄骨の柱梁交点に接合されるがダイヤ型ではブレースの端部は梁あるいは枠柱の中間部に接合されるのでブレースタイプによって、枠の応力分布が異なる。

本論文は既発表論文²⁾をベースに加筆再構成したもの



写真2 外付けダイヤ型
ブレース



写真1 内付けK型ブレース
(施工中)



写真3 外付けK型ブレース

で、間接接合部の剛性、連層連スパンの数、補強ブレースの形状をパラメータとし、枠付き鉄骨ブレースが直付け外付け補強された RC フレームの弾性解析を行い、これらが間接接合部における応力の分布に及ぼす影響を把握するものである。

枠付き鉄骨ブレース直付け工法における間接接合部の設計で文献1)に明示的に記述されている事項は以下のとおりである(斜体は外付け工法に特有の事項)。

1. スパンごとに面外方向の脱落防止(1Gの外力)
2. 大きな変動軸力が予想される場合は基礎部分の補強の要否を検討する。
3. 基準による評価が困難な時は非線形静的漸増载荷など詳細検討を行う。
4. 0.3mm以上の亀裂あるいはジャンカは補修し、付着強度を適切に低減する。
5. $2.5t > d$ (t : 鋼板厚, d : スタッド径)
6. ブレースの細長比は58以下。
7. 鉄骨枠の継ぎ手は保有耐力接合。
8. 間接接合部の設計応力: ブレースが負担する軸力によって水平および鉛直接合部に生じるせん断力および偏心曲げモーメント
9. 連層補強の梁枠: 当該接合部の直下の鉄骨ブレース終局強度で設計
10. 連スパンの柱枠: 各構面ごとの設計
11. コンクリート強度が 18N/mm^2 以下の場合: 適用外, 別途検討を要する。
12. アンカー配置(設計応力)
 - 1) 交差部: ブレース応力の鉛直不釣り合いによる枠軸直交方向のせん断力
 - 2) 端部: 偏心曲げモーメントによる構面外方向の引張力
 - 3) 一般部: ブレースの保有耐力に対応する枠軸方向

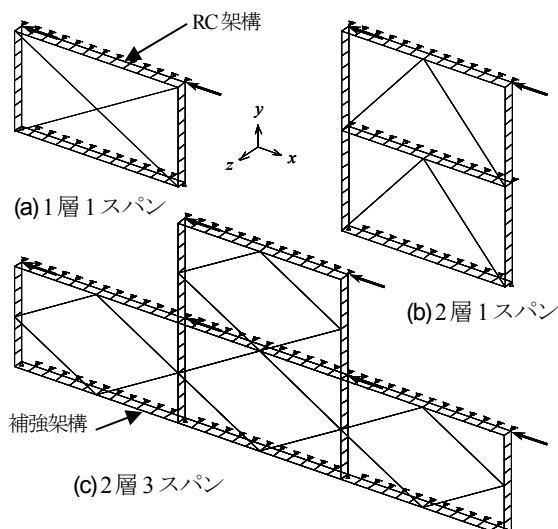


図1 基本架構モデル

せん断力

13. あと施工アンカーの低減係数 $\phi_k=0.7$, ただし要素実験や架構実験などで評価できる場合はその値を用いてよい。また, ずれが拘束されていれば ϕ_k の低減は不要
14. 有効埋め込み長さ: $12d_a$ (d_a : アンカー径), 鉄骨に対するへりあき 60mm以上

2. 解析

(1) 解析手法

汎用構造解析プログラム **Multiframe** を用い, 静的弾性解析を行った。水平荷重は水平変位の最大値が 2mm 程度になるように(1層1スパンのモデルに対しては 200kN, 2層1スパン・2層3スパンモデルに対しては 100kN を各被補強(RC)架構の柱頭へ载荷) 载荷荷重を決定した。実構造物では被補強 RC 架構には軸力が発生しているが, 自重の影響を無視すれば補強架構に軸力および間接接合部のせん断力は発生しないので長期荷重としての軸力はモデルに導入しない。

(2) 解析モデル

解析に用いた基本架構モデルを図1に示す。被補強部材は RC 骨組を想定し, 柱スパン 6m, 階高 4m のコンクリート断面(柱 600x600mm, 梁 500x700mm)で, コンクリートのヤング係数は 20000N/mm^2 とした。柱脚はピン支

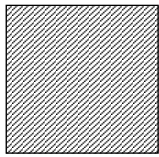
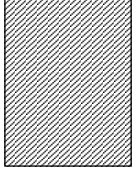
	
被補強柱 600x600mm	被補強梁 500x700mm
	
補強鉄骨枠 H-294x200x8x12	ブレース H-200x200x8x12

図2 部材断面図

持とし、梁の Z 方向（構面外）変位を拘束している。補強部材は、鉄骨枠フレームを H-294x200x8x12、ブレースを H-200x200x8x12 とし、鋼のヤング係数は 200000N/mm^2 とした（図 2 参照）。間接接合部は接合部材として、接合部高さ 200mm の置換スタッド部材を柱、梁ともに 500mm 間隔で配置した。間接接合部材の剛性は 19ϕ の頭付きスタッドを想定し、下式³⁾により剛性を算定し、両端回転固定時の剛性となるような部材断面を決定した（ $\phi=74\text{mm}$ ）。

$$K_{st} = \frac{4E_s I_s}{a_s} \beta_c^3 \frac{e^{2\beta_c H} - e^{-2\beta_c H} + 2\sin(2\beta_c H)}{e^{2\beta_c H} - e^{-2\beta_c H} + 4 + 2\cos(2\beta_c H)} \quad (1-1)$$

$$\beta_c = \sqrt[4]{\frac{K_c}{4E_s I_s}} \quad (1-2)$$

ここで、 K_c ：コンクリート反力係数（ E_c ）、 $E_s I_s$ ：スタッドの曲げ剛性、 a_s ：スタッドの断面積、 H ：スタッドの高さ

解析変数として、

- a) 間接接合要素のヤング係数（ $E_{st}=0.5E_s$, E_s , $2E_s$ ）,
- b) 連層連スパンの数（1 層 1 スパン、2 層 1 スパン、3 層 3 スパン）,
- c) ブレース形状（ダイヤ型、K 型、X 型）

を選択した。

3. 解析結果および考察

(1) 連層連スパン補強の影響

図 3(a)～(c)に各ブレース形式における枠材軸方向の間接接合部せん断力を視覚的に表現したものを示す（ただし、置換スタッドのヤング係数 E_s 、補強鉄骨枠柱脚支持なし）。各図において 2 つの構面を繋ぐ短い多数の線が間接接合材で線が太いほど応力が大きいことを表している（具体的な数値については図 4 および 5 参照）。ダイヤ型(a 図参照)および X 型(c 図参照)では層が連続する部分

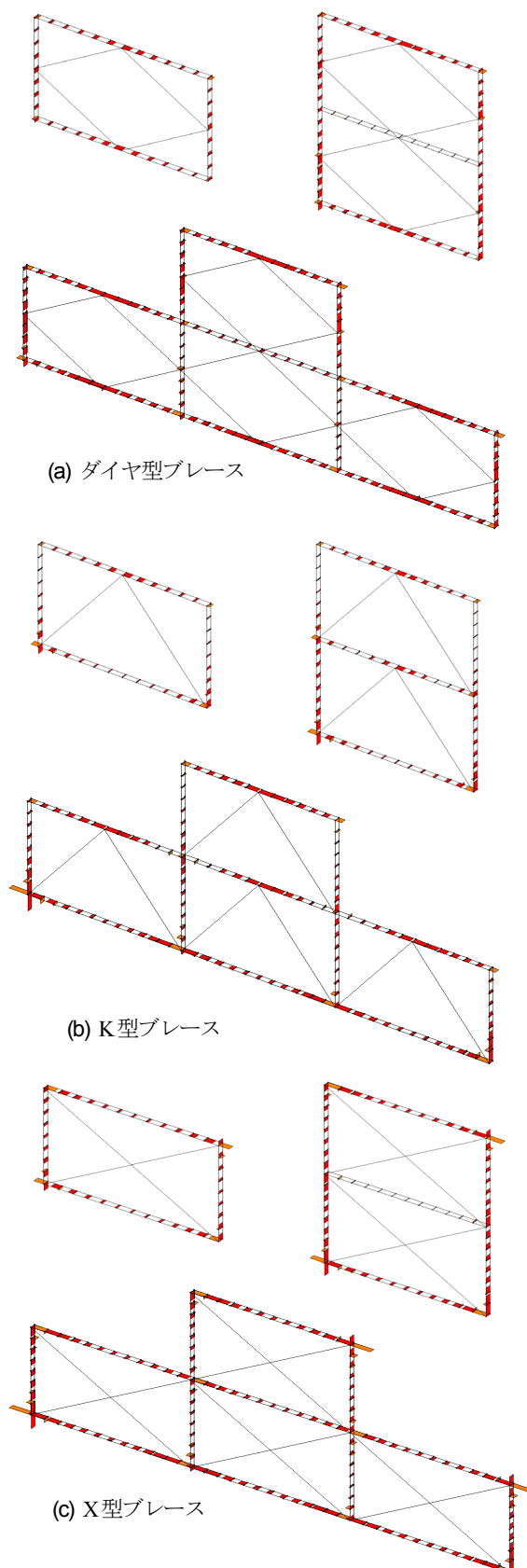
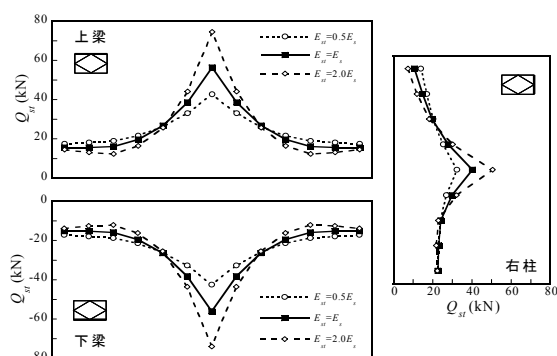


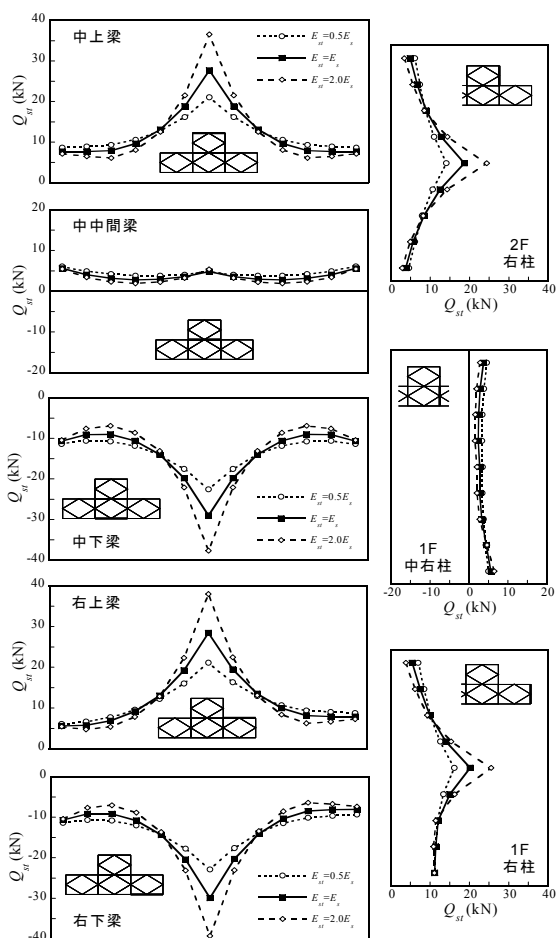
図3 間接接合部のせん断力分布
($E_{st}=E_s$ 柱脚自由)

の中間梁柱、スパンが連続する部分の中間柱柱の間接接合部では、負担せん断力が小さいことが分

かる。これは上下隣接するあるいは左右隣接する補強架構のブレースによる応力が打ち消しあう方向であること、ダイヤ型ブレースで、上下（あるいは左右）のブレースの材軸が通っている場合には、梁（あるいは柱）材材を介することなくブレース応力の伝達が可能なためである。



(a) 1層1スパン

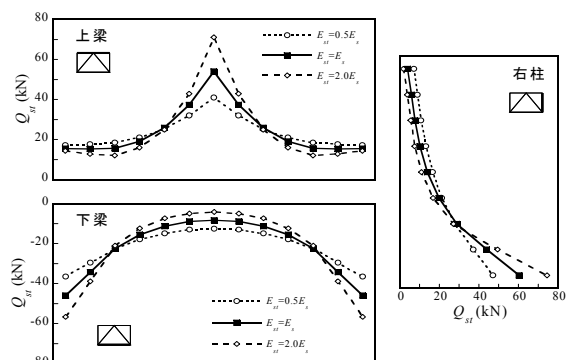


(b) 2層3スパン

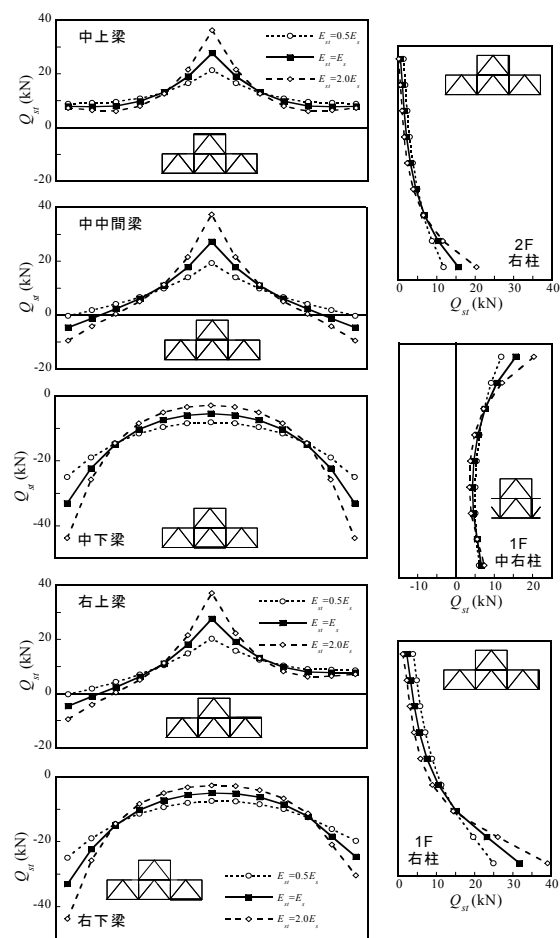
図4 スタッド剛性の影響 (ダイヤ型ブレース)

(2) 間接接合部の剛性の影響

ダイヤ型および K 型配置の場合について、間接接合部に生じる補強鉄骨材材軸方向のせん断力分布(柱部は Q_y 、梁部は Q_x で座標軸 x, y は図 1 参照)を図 4(ダイヤ型)および図 5(K 型)に示す。置換スタッド部材のヤング係数は $E_{st} = E_s, 0.5E_s$,



(a) 1層1スパン



(b) 2層3スパン

図5 スタッド剛性の影響 (K型ブレース)

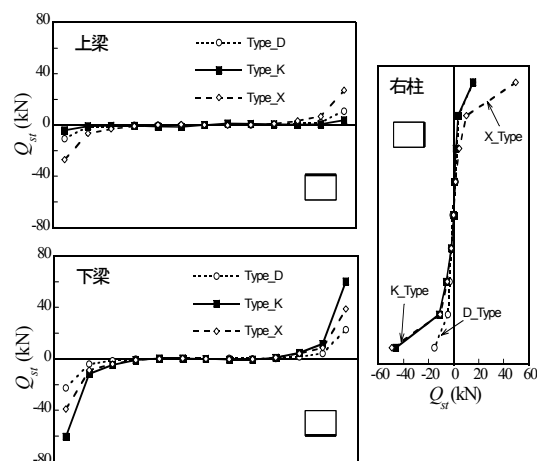
$2E_s$ の 3 種類である。

両図より，ブレース形状に関係なく，柱部，梁部ともにブレース節点部においてスタッドの剛性が大きいほど負担せん断力は大きく，ブレース節点部付近のスタッドが集中的に補強枠材軸方向の応力の伝達を担う傾向にある（ダイヤ型では柱梁ともに中間のブレース節点部，K 型では柱脚と上梁中間部および下梁両端部）．伝達応力が集中しているブレース節点以外の部分では，スタッドの剛性が小さいほど材軸方向材全体にわたってせん断力を負担する傾向が見られる．また，図 3(a)で示したことであるが，ダイヤ型では外周部の枠材に比べて中間梁枠（図 4(b)中中間梁参照）および中間柱枠（図 4(b)中右柱参照）のせん断力が小さい．これらのことから，以下のことが推察できる．

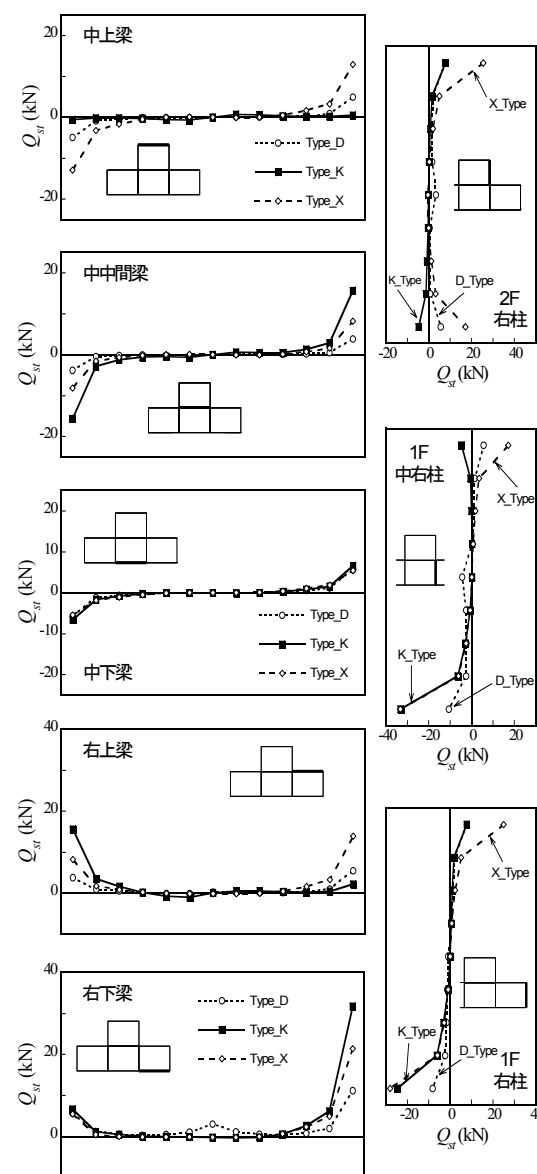
- ① 被補強部材のコンクリート強度に余裕がある場合はブレース節点部付近の間接接合材の剛性を大きくする，もしくは密度を大きくすることにより効率のよい応力伝達が期待できる．
- ② コンクリート強度に余裕のない場合は，間接接合材の剛性を小さく抑える（スタッドおよびアンカー径を細くする）ことにより，局所的に応力が大きくなることを緩和できる．
- ③ ダイヤ型配置の場合中間梁枠および中間柱枠の間接接合材を少なくできる．

(3) 補強鉄骨枠材軸直交方向のせん断力

柱および梁の間接接合部の鉄骨枠材軸直交方向（柱部は Q_x ，梁部は Q_y ）のせん断力分布図を図 6 に示す．同図の計算条件は置換スタッド部材のヤング係数は $E_{st}=E_s$ で，補強鉄骨枠の柱脚は自由の場合である．同図中，凡例の TypeD, K および X はそれぞれダイヤ型，K 型，および X 型ブレース配置を表す．ブレースタイプによって差はあるがいずれの場合も枠材端部での応力が大きい．これは柱枠と梁枠が剛接と仮定しているため，柱軸方向の応力の一部を梁枠材端でも負担し，梁軸方向の応力の一部を柱枠材端でも負担していることを意味している．なおダイヤ型の場合は他の場合に比べてこの応力は小さい傾向にある．



(a) 1 層 1 スパン



(b) 2 層 3 スパン

図 6 材軸直交方向せん断力分布
($E_{st}=E_s$ 枠鉄骨柱脚自由)

4. 結論

本論では、鉄骨枠付きブレース外付け耐震補強における間接接合部の応力伝達を把握するため、間接接合部材の剛性、連層連スパン数、ブレース形状をパラメータとして弾性解析を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 間接接合部材の剛性が大きいほどブレース節点周辺に応力が集中するが、剛性が小さいと集中度が小さくなる。被補強部材のコンクリート強度によってあと施工アンカーの剛性やせん断耐力に制約を受ける場合、強度や配置の検討により合理的な間接接合部の設計が可能である。
- 2) X およびダイヤ型配置の場合、連層・連スパン部における中間枠梁・枠柱部の間接接合要素の負担せん断力は外周枠部に比べ小さいので簡素化出来る。

なお、本論では構面外方向水平力の影響は考慮していないため、ここでの知見は、補強構面に直交する RC 骨組の強度・剛性が大きいことが前提である。

謝辞：数値計算に際しては越智聖仁氏（渡辺設計事務所）の、協力を得ました。宮川和明氏（JFE シビル）には貴重なご意見を賜りました。また写真については宮川和明氏および内田直樹氏（元神戸大学教授）から提供を受けました。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の「外側耐震改修マニュアル」－枠付き鉄骨ブレースによる補強－，2002年9月
- 2) 藤永隆，三谷勲，宮川和明：鉄骨枠付きブレース外付け耐震補強における間接接合部の応力伝達に関する研究，第7回日中建築構造技術交流会論文集，pp.674-681，2006年10月
- 3) 山野辺宏治，矢部喜堂，和田章：頭付きスタッドの弾塑性性状を考慮した合成梁架構の弾塑性平面骨組解析，日本建築学会構造系論文集，No.502，pp.135-140，1997年12月

Stress Distribution on Indirect Connection of Outer Steel Frame with Brace for Seismic Retrofit

Isao MITANI and Takashi FUJINAGA

Seismic retrofit method by attaching external braced steel frame to existing concrete building has a significant advantage in that the construction can be done without interfering the use of building. To ensure sound connection between the attached external frame and the existing building, the Japanese Building Disaster Prevention Association has published a design manual. However, the recommendations in the current design manual for the connection are not reasonable and need to be improved.

Based on the results of the parametric study, rational connection detailing such as reasonable distribution of studs were discussed.